

КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМ. В.И. УЛЬЯНОВА–ЛЕНИНА

На правах рукописи
УДК 551.513.1

КОРОТЫШКИН ДМИТРИЙ ВИКТОРОВИЧ

**КЛИМАТИЧЕСКАЯ СПЕКТРАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ
ВОЛНОВОЙ АКТИВНОСТИ С ВРЕМЕННЫМИ МАСШТАБАМИ
ПЛАНЕТАРНЫХ ВОЛН СРЕДНЕШИРОТНОЙ
МЕЗОСФЕРЫ – НИЖНЕЙ ТЕРМОСФЕРЫ**

Специальность 25.00.29 – Физика атмосферы и гидросферы

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Казань 2005

Работа выполнена в Казанском Государственном Университете им. В.И. Ульянова-Ленина

Научный руководитель:

Доктор физико-математических наук
Фахрутдинова Антонина Николаевна

Официальные оппоненты:

Доктор физико-математических наук
Белашов Василий Юрьевич

Доктор физико-математических наук
Овчинников Марат Николаевич

Ведущая организация:

ГУ НПО «Тайфун» (г. Обнинск).

Защита диссертации состоится « 29 » декабря 2005 г. в 14.30 часов в ауд. 210 физического факультета на заседании диссертационного совета Д212.081.18 в Казанском Государственном Университете им. В.И. Ульянова-Ленина по адресу: 420008, г. Казань, ул. Кремлевская, 18.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Казанского Государственного Университета им. В.И. Ульянова-Ленина.

Автореферат разослан « ____ » ноября 2005 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор физико-математических наук,
профессор

А.В. Карпов

Актуальность темы

В настоящее время представляют значительный интерес исследования динамики региона мезосферы – нижней термосферы в связи с ее значительным влиянием на параметры верхних и нижних слоев атмосферы. На основе большого массива измерений ветрового режима создаются региональные и глобальные эмпирические и численные модели фоновой циркуляции и приливного ветра, сезонные закономерности которых ведут себя достаточно стабильно из года в год. Значительный интерес представляют вариации скорости ветра в поле преобладающего ветра с временными масштабами 2-30 суток (данные масштабы характерны для планетарных волн), исследование сезонных и высотных закономерностей которых весьма затруднено в связи с нестабильностью спектрального состава. Нестабильность частоты и амплитуды данных волновых процессов обусловлена изменчивостью фоновой циркуляции и температурного режима, а также нелинейным взаимодействием волн между собой. При создании моделей региональной и глобальной циркуляции необходимо иметь представление об ее изменчивости, которая в значительной степени обусловлена воздействием планетарных волн. Взаимосвязь различных атмосферных слоев происходит за счет распространения планетарных волн, их взаимодействия с фоновыми движениями и между собой, что в конечном итоге приводит к перераспределению энергии и горизонтального момента импульса по высоте, а также вызывает метеорологические эффекты в ионосфере. В связи с этим значительный интерес представляет определение характеристик волновых возмущений в поле преобладающего ветра с временными масштабами, характерными для планетарных волн, и установление их высотной и сезонной изменчивости.

Цель работы

Построение климатической спектральной модели волновой активности в поле зонального и меридионального преобладающего ветра на высотах мезосферы – нижней термосферы с периодами 2-30 суток, включая высотно-сезонные закономерности. Определение характеристик вращения вектора скорости ветра.

Поставленная цель потребовала решения следующих задач:

1) Модернизация радиометеорного метода измерений скоростей ветра, позволяющая улучшить помехозащищенность ветровых наблюдений и повысить статистическую обеспеченность получаемых ветровых данных, с целью формирования длинных непрерывных экспериментальных рядов скоростей ветра на высотах мезосферы – нижней термосферы;

2) Создание климатической спектральной модели интенсивности волновых возмущений с временными масштабами 2-30 суток среднеширотной мезосферы – нижней термосферы на базе ветровых измерений в 1986-2002 гг. для региона Казани (56^0 с.ш., 49^0 в.д.);

3) Проведение анализа созданной спектральной климатической модели и определение ее сезонных и высотных закономерностей;

4) Выделение ротационных эффектов вектора скорости преобладающего ветра на высотах мезосферы – нижней термосферы, в том числе анализ спектров когерентности волновых процессов в поле зонального и меридионального преобладающего ветра и ротационных спектров плотности мощности волновых процессов с временными масштабами 2-30 суток, и установление их высотных и сезонных закономерностей.

Методы исследования.

Решение поставленных задач базируется на радиометеорных измерениях скоростей зонального и меридионального ветра на высотах мезосферы – нижней термосферы, выполненных на метеорном радаре Казанского Университета, и на современных методах цифрового спектрального анализа, таких как авторегрессионное спектральное оценивание и вейвлет-

анализ, позволяющих значительно улучшить качество и надежность получаемых научных результатов.

Достоверность результатов и научных положений обусловлена высокой статистической обеспеченностью длительных радиометеорных измерений скорости ветра на высотах 80-100 км, охватывающие 18-ти летний временной интервал от 1986 года до 2004 года, а также высокоточным высотомером (среднеквадратичная погрешность оценки высот единичных измерений около 1 км), который используется на метеорном радаре Казанского Университета. Достоверность расчетов обусловлена выбором устойчивых и надежных методов спектрального анализа и хорошим согласованием результатов анализа измерений с имеющимися теоретическими и экспериментальными исследованиями волновой возмущенности в средней атмосфере.

На защиту выносятся положения

1) Автокорреляционный метод обнаружения пачки когерентных радиоимпульсов с неизвестным доплеровским сдвигом частоты в рамках выполненной модернизации радиометеорного метода измерений скоростей ветра. Метод позволил улучшить помехозащищенность ветровых наблюдений и повысить статистическую обеспеченность получаемых ветровых данных с целью формирования длинных непрерывных экспериментальных рядов скоростей ветра на высотах мезосферы – нижней термосферы.

2) Созданная климатическая спектральная модель волновых возмущений с временными масштабами 2-30 суток среднеширотной мезосферы – нижней термосферы для региона Казани (56° с.ш., 49° в.д.);

3) Выявленные сезонные и высотные закономерности параметров разработанной климатической спектральной модели.

4) Закономерности вращения вектора скорости ветра, в т.ч. характерные фазовые сдвиги между волновыми возмущениями в поле зонального и меридионального ветра и параметры вращения вектора скорости ветра в

зависимости от временного масштаба возмущений (2-30 суток), высоты и сезона года.

Научная новизна

1) Впервые построена климатическая спектральная модель волновых возмущений с периодами колебаний 2-30 суток на высотах 80-100 км для региона Казани (56^0 с.ш., 49^0 в.д.).

2) Выявлены новые закономерности высотных и сезонных вариаций интенсивности волновых процессов в зависимости от периода колебаний с высокой детализацией спектра в области больших периодов (15-30 суток).

3) Впервые на единой методологической основе определена высотная структура показателя степенной зависимости спектральной плотности мощности от периода волновых возмущений для областей спектра 2-7 суток и 10-30 суток в интервале высот 0-55 км и 80-100 км.

4) Получены новые высотные и сезонные закономерности для вращения вектора скорости ветра с периодами вращения от 2 до 30 суток на высотах среднеширотной мезосферы – нижней термосферы.

Научная значимость

Научная значимость заключается в установлении частотных, высотных и сезонных закономерностей интенсивности и фазы волновых процессов с периодами колебаний 2-30 суток и создании климатической спектральной модели интенсивности волновых возмущений и их ротационных закономерностей для среднеширотной мезосферы – нижней термосферы.

Практическая полезность и реализация результатов работы

Созданная климатическая спектральная модель интенсивности волновых возмущений в поле зонального и меридионального ветра может быть использована при составлении глобальной модели волновой возмущенности ветровых полей с масштабами 2-30 суток, а также может быть учтена при создании модели циркуляции атмосферы. Разработанный метод обнаружения когерентной пачки радиоимпульсов используется при прове-

дении радиометеорных наблюдений за ветровым режимом на метеорном радаре Казанского Университета с 2003 года по настоящее время.

Личный вклад автора

Автором разработан и внедрен метод обнаружения когерентной пачки радиоимпульсов с неизвестным доплеровским сдвигом частоты для обнаружения метеорных радиоэхо на метеорном радаре Казанского Университета с целью улучшения помехозащищенности радиометеорных наблюдений и увеличения статистической обеспеченности ветровых исследований мезосферы – нижней термосферы. Автор участвовал в проведении радиометеорных наблюдений на метеорном радаре КГУ в 2000-2004 гг. Выполнена калибровка фазовых измерений угловых координат по данным 1993-2002 гг. и на единой методологической основе сформированы ряды среднечасовых и среднесуточных скоростей преобладающего зонального и меридионального ветра на базе радиометеорных измерений в 1986-2004 гг. Им проведены исследования волновой возмущенности ветровых полей для высот мезосферы – нижней термосферы и построена эмпирическая спектральная климатическая модель волновой активности.

Апробация работы

Основные результаты докладывались и были представлены: на трех международных симпозиумах "Atmospheric and Oceanic Optics. Atmospheric Physics" (Tomsk, 2002, 2003, 2004; в 2003 году доклад был отмечен дипломом Оргкомитета 10 Юбилейного Симпозиума «Оптика атмосферы. Физика атмосферы»); на конференции «Фундаментальные исследования взаимодействия суши, океана и атмосферы» (Москва, 2002); на двух 34-ой и 35-ой научных ассамблеях COSPAR (Houston, 2002; Paris, 2004); на IV Международной школе молодых ученых и специалистов «Физика окружающей среды» (Томск, 2004); на XXI Всероссийской научной конференции «Распространение радиоволн» (Йошкар-Ола, 2005); на III международной конференции «Фундаментальные проблемы физики» (Казань, 2005). Результаты исследований по теме диссертации были представлены

на конкурсах именных стипендий в 2003-2004 гг., были отмечены 1) именной стипендией Главы администрации г. Казани (2003 г.) и 2) Специальной стипендией Республики Татарстан (2004 г.). Исследования по теме диссертации поддержаны в 2002 и 2003 гг. грантами РФФИ по конкурсу МАС (гранты №№ 02-05-06149, 03-05-06316), Министерством образования Российской Федерации (грант № А03-2.13-513, 2003-2004 гг.), грант для государственной поддержки молодых ученых РТ № 07-3 (Г). В 2005 году был исполнителем гранта INTAS № 03-51-5380.

По материалам диссертации опубликовано 16 работ.

Объем и содержание диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и приложения, содержит 147 страниц текста, 35 рисунков, 7 таблиц и 121 библиографическую ссылку.

Во введении обосновывается актуальность исследований интенсивности волновых возмущений с временными масштабами, характерными для планетарных волн, и построения климатической спектральной модели интенсивности волновых возмущений с этими масштабами, представлены цель работы и задачи, научная новизна диссертационной работы, ее научная и практическая ценность, а также сформулированы положения, выносимые на защиту.

Первая глава содержит обзор литературы по вопросам динамики средней атмосферы. Представленный обзор работ по динамике средней атмосферы показывает актуальность исследований ветрового режима и изменчивости термодинамических параметров мезосферы – нижней термосферы с временными масштабами планетарных волн (2-30 суток), которые, несмотря на значительное количество работ, посвященных их исследованию, вызывают интерес и требуют дальнейших исследований. Актуальными проблемами являются построение климатических моделей интенсивности волновых возмущений в поле преобладающего ветра, исследование их высотной изменчивости для разных диапазонов временных масштабов. При этом особый интерес вызывает взаимосвязанность волно-

вых возмущений в поле зонального и меридионального ветра на различных высотных уровнях мезосферы – нижней термосферы, поскольку экспериментальные исследования по данному вопросу практически отсутствуют.

Во второй главе представлены характеристики метеорного радара Казанского Университета и ряды скоростей ветра на высотах мезосферы – нижней термосферы. В рамках модернизации радиометеорного комплекса в 2002-2004 гг. в работе разработан автокорреляционный метод обнаружения метеорных радиоэхо, обладающий высокими вероятностными характеристиками обнаружения и адаптивным порогом срабатывания порогового устройства. Метеорный локатор Казанского Университета работает в когерентно-импульсном режиме [1]. Задача обнаружения метеорного радиоэхо сводится к классической задаче обнаружения когерентной пачки радиоимпульсов с неизвестным доплеровским сдвигом частоты. Разработанный автокорреляционный метод обнаружения когерентной пачки радиоимпульсов использует адаптивный порог срабатывания порогового устройства. Порог срабатывания рассчитывается по формуле:

$$L_0(\alpha) = \hat{R}(\alpha) \frac{\hat{\sigma}^2(t)}{\sqrt{2M}},$$

где $\hat{\sigma}^2(t)$ – оценка дисперсии (мощности) шума на выходе приемного тракта, M – объем выборки, $\hat{R}(\alpha)$ – коэффициент, определяемый по критерию Неймана-Пирсона.

Оценка мощности шумового сигнала рассчитывается как разность полной выборочной дисперсии шумового сигнала и полезного сигнала (если таковой в выборке присутствует) и оценки дисперсии сигнальной компоненты по первому элементу автокорреляционной последовательности (АКП). Используя ограничения на полезный сигнал $\Omega_0 \cdot T_3 \approx 0$ и $S_m \approx S_{m+1}$, где Ω_0 – доплеровский сдвиг частоты, T_3 – период зондирования, S_m – амплитуда радиоимпульса, оценка мощности шума запишется как

$$\hat{\sigma}^2 = \left\{ R_0 - \operatorname{Re} \left[\overline{R_1} \right] \right\}.$$

Фигурные скобки $\{\dots\}$ в этом выражения означают усреднение по множеству реализаций. В качестве статистики для обнаружения использована реальная часть первого элемента АКП:

$$L = \operatorname{Re} \overline{R_1} = \operatorname{Re} \frac{1}{M} \sum_{m=0}^{M-1} \overline{A_m} \cdot \overline{A_{m+1}}^*,$$

где $A = A_C + jA_S$ – комплексная амплитуда, составленная из квадратурных компонент на выходе синхронных детекторов. В качестве основных достоинств разработанного метода является: простота реализации; вероятностные характеристики обнаружения данным методом выше, чем у некогерентного накопителя; имеется возможность оптимального выбора порога срабатывания порогового устройства в условиях медленно меняющейся мощности шума на выходе приемного устройства.

В третьей главе представлены результаты исследований волновой активности с временными масштабами 2-30 суток на высотах мезосферы – нижней термосферы по данным измерений скоростей ветра для региона Казани (56 гр. с.ш., 49 гр. в.д.) на метеорном радаре Казанского Университета и их анализ. Разработана климатическая спектральная модель волновой активности с временными масштабами планетарных волн (2-30 суток) для региона Казани для четырех сезонов года с использованием интегральных вейвлет-спектров [2], построенных на базе вейвлет Морле. Интервал усреднения составил 16 лет с 1986 года по 2002 гг. В зависимости от нормировки для вейвлет-преобразования, результаты спектральной эмпирической модели следует трактовать как амплитудные (энергетические) спектры или как спектральную плотность мощности волновых процессов. Для примера, на рис. 1 представлены энергетические спектры зонального (U^2) и меридионального (V^2) ветра для зимы и лета в зависимости от высоты в интервале 84-98 км с шагом 2 км. Для лучшего визуального представления энергетических спектров значения для каждой зависимости U^2 и V^2 от T смещены на $(h-84)/2 \cdot 5 \text{ м}^2/\text{с}^2$, где h – высота (в км). Анализ данных спектров показывает наличие характерных периодичностей, периоды которых

соответствуют периодам волн Россби. Проведены исследования частотных закономерностей данной модели в зависимости от высоты и сезона/месяца года. Обнаружена трансформация спектра при переходе от 2-4 суточных волновых возмущений летом к 10-27 суточным периодичностям зимой. Выявлены характерные временные масштабы волновых возмущений в зависимости от сезона на соответствующих высотах: 5 суток, 16 суток, 27 суток (80-90 км) зимой, 5 суток (90-100 км) и 16 суток (80-90 км) весной, 2 и 4 суток летом, 5 и 10 суток осенью.

Проведено исследование спектров плотности мощности волновых возмущений с масштабами 2-30 суток в 1986-2002 гг. в рамках понятия макротурбулентности [3,4]. Установлено, что спектры плотности мощности волновых возмущений на высотах 0-100 км имеют степенной характер. В области около 6-7 суток обнаруживается изменение показателя степени. Показатель степени для масштабов 2-7 суток варьируется в пределах от 0.5 до 2.8 в зависимости от высоты и сезона года.

Четвертая глава посвящена результатам исследований закономерностей вращения вектора скорости ветра с периодами 2-30 суток и их анализу. Для исследований составлены временные ряды скоростей ветра по формуле $u + jv$, где u и v – скорость зонального и меридионального ветра соответственно. Результаты спектрального анализа таких временных рядов следует трактовать как ротационные спектры [5]. С использованием методики ротационных спектров обнаружены эффекты вращения вектора скорости ветра в поле приливного ветра (8-30 часов) и в поле преобладающего ветра (2-30 суток). Анализ интегральных ротационных вейвлет-спектров позволил определить общие частотные закономерности вращения вектора скорости ветра в 1986-2002 гг. и 2003-2004 гг. в зависимости от высоты и сезона года. На рис. 2 представлены примеры интегральных ротационных вейвлет-спектров для высотного уровня около 94 км для четырех сезонов года. Данные спектры представляют собой плотность мощности компонент вращения против часовой стрелки A^2 и по часовой стрелке C^2 .

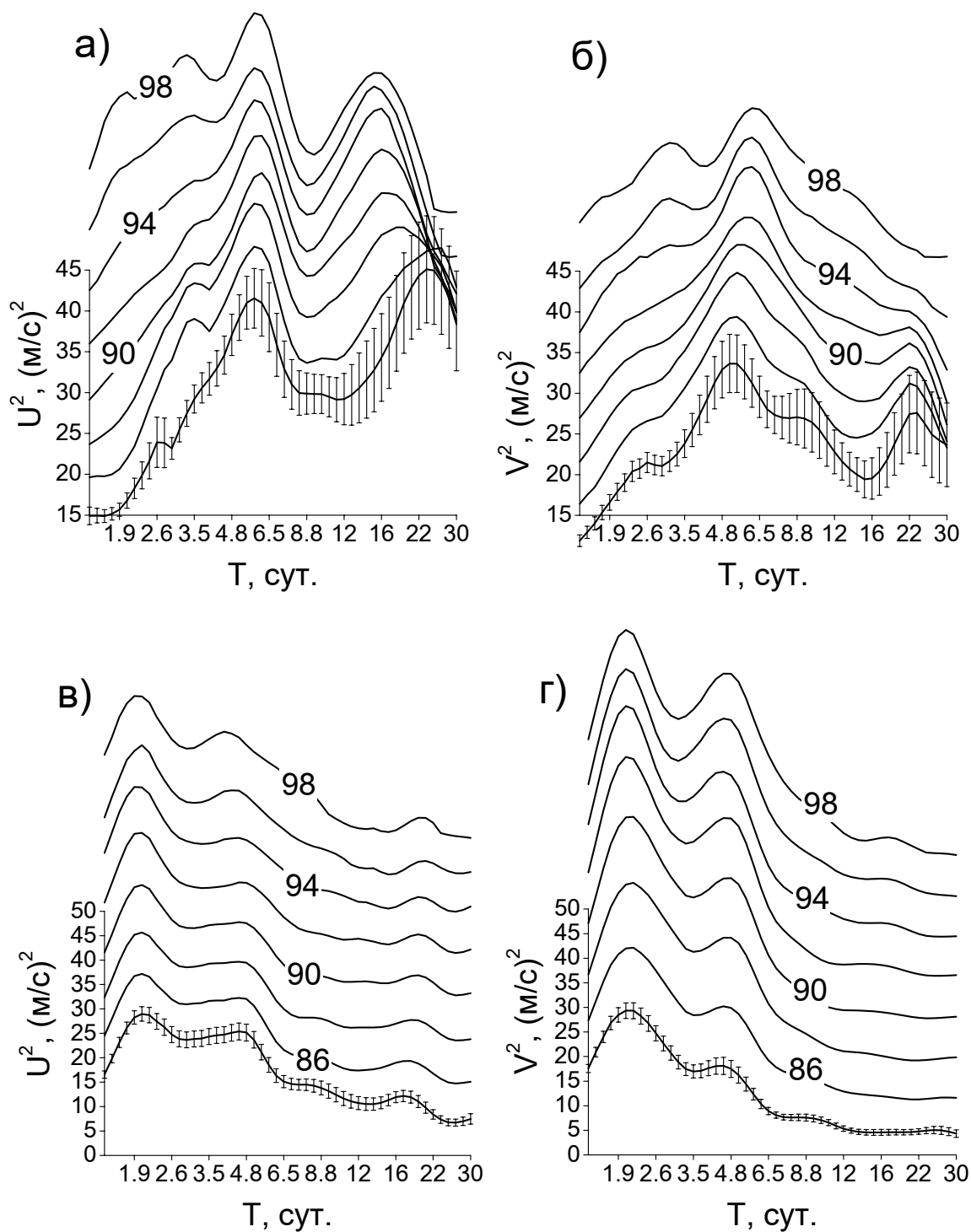


Рис. 1. Энергетические спектры для скорости ветра на 8 высотных уровнях в интервале высот 84-98 км (снизу вверх, шаг 2 км) по данным измерений 1986-2002 гг. в Казани: а) зональный ветер зимой; б) меридиональный ветер зимой; в) зональный ветер летом; г) меридиональный ветер летом.

Преобладающее вращение определяется преобладанием соответствующей компоненты вращения A^2 или C^2 . В случае равенства A^2 и C^2 вращение отсутствует, и наблюдаются колебания вдоль определенного азимутально-

го направления. Для сравнения компонент вращения A^2 и C^2 вводится параметр $\delta = \log_{10}(A^2/C^2)$, знак которого характеризует преобладающее направление, а величина – отношение спектральных амплитуд вращения, т.е. степень эллиптичности вращения вектора скорости ветра. С использованием рассчитанного параметра δ (для примера на рис. 3 представлен данный параметр в зависимости от периода волновых возмущений для высотного уровня 94 км для 4 сезонов года) определены основные частотные закономерности вращения вектора скорости. Установлено преимущественное вращение вектора скорости ветра по часовой стрелке для синоптических масштабов (2-7 суток) и против часовой стрелки для длинных и ультрадлинных волн (10-30 суток) с некоторой изменчивостью с высотой и сезоном года.

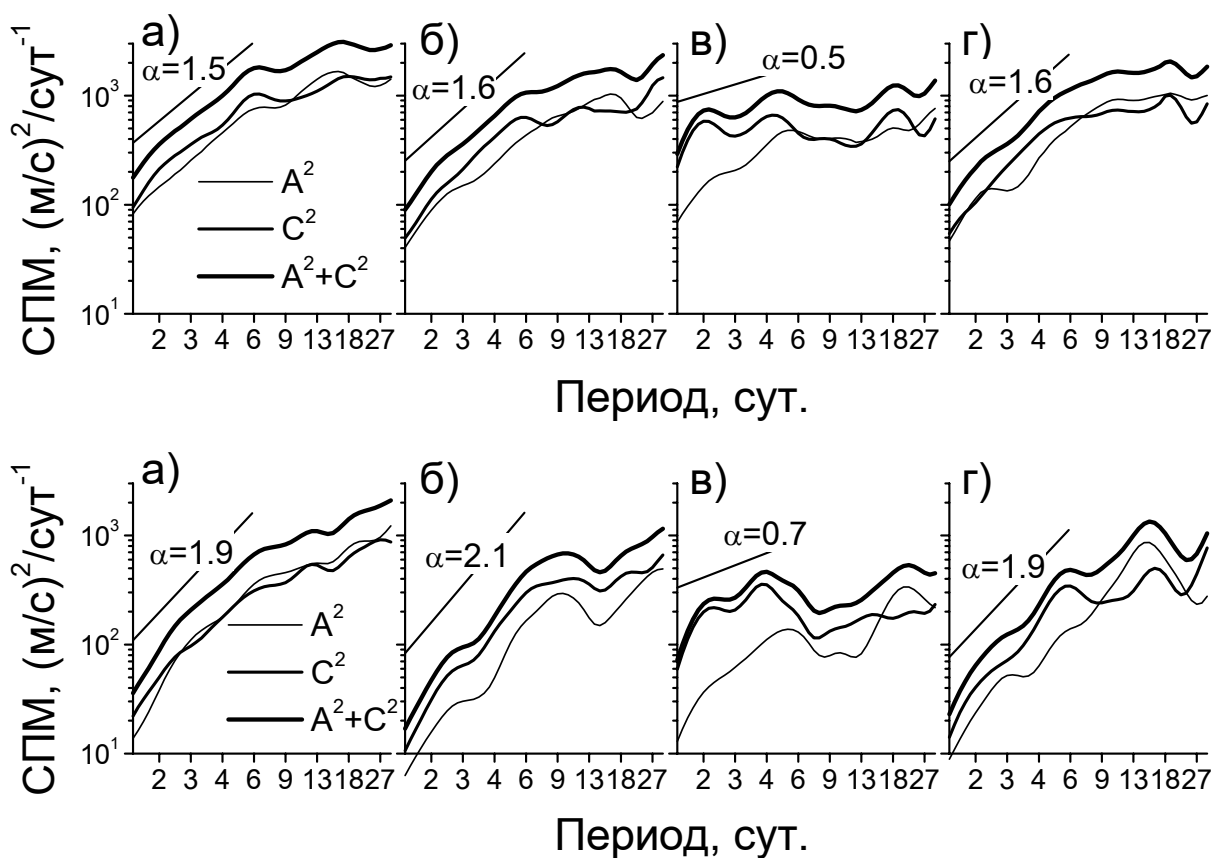


Рис. 2. Среднемноголетние ротационные спектры (спектральная плотность мощности) для интервала временных масштабов 2-30 суток по измерениям в 1986-2002 гг. для высотного уровня 94 км (сверху – 1986-2002 гг., снизу – 2003-2004 гг.): а) зима, б) весна, в) лето, г) осень.

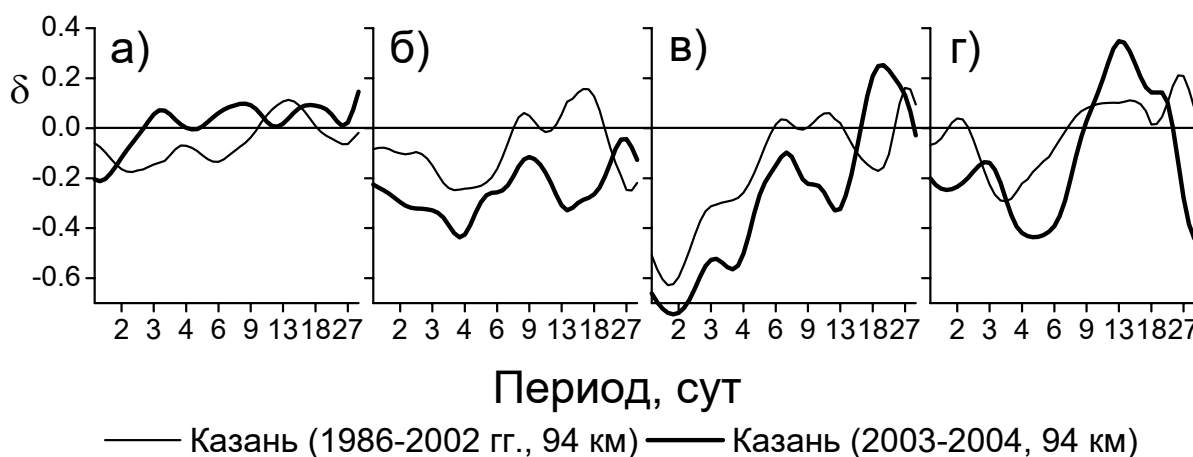


Рис. 3. Зависимость параметра δ от временного масштаба (периода) в среднем для 1986-2002 гг. и в среднем для 2003-2004 гг. для высотного уровня 94 км для четырех сезонов года: а) зима, б) весна, в) лето, г) осень.

В рамках исследования взаимосвязанности зональной и меридиональной компонент преобладающего ветра проведено исследование спектров когерентности и установлены наиболее вероятные фазовые сдвиги для характерных периодичностей волновых процессов: около 90° для 2-4 суток, около 45° для 5 суток с опережением меридиональной компоненты, для масштабов выше 5 суток наблюдается тенденция опережения зональной компоненты.

В заключении сформулированы основные выводы, полученные в данной диссертационной работе:

1) В рамках модернизации метеорного радара КГУ в 2002-2004 гг. для обнаружения метеорных радиоэхо разработан автокорреляционный метод обнаружения когерентной пачки радиоимпульсов с неизвестным доплеровским сдвигом частоты. В качестве основных достоинств данного подхода является: простота реализации; вероятностные характеристики обнаружения данным методом выше, чем у некогерентного накопителя; имеется возможность адаптивного выбора порога срабатывания порогового устройства в условиях медленно меняющейся мощности шума на выходе приемного устройства. Разработанный метод позволил улучшить помехозащищенность ветровых наблюдений и повысить статистическую обеспеченность ветровых измерений. С использованием этого метода

в 2003-2004 гг. получены длинные непрерывные экспериментальные ряды скоростей ветра на высотах мезосферы – нижней термосферы.

2) Разработана спектральная климатическая модель волновой активности за 16-ти летний период наблюдений (1986-2002 гг.) на высотах 80-100 км. Созданная спектральная модель отображает высотную и сезонную структуру интенсивности волновых возмущений для диапазона периодов от 2 до 30 суток.

3) Обнаружена трансформация спектра при переходе от летнего сезона с преобладанием 2-4 суточных волновых возмущений к зимнему сезону с преобладанием 10-27 суточных периодичностей. Выявлены характерные временные масштабы волновых возмущений в зависимости от сезона и высоты: 5 суток, 16 суток, 27 суток (80-90 км) зимой, 5 суток (90-100 км) и 16 суток (80-90 км) весной, 2 и 4 суток летом, 5 и 10 суток осенью.

4) В рамках понятия макротурбулентности определен коэффициент наклона спектров мощности для высот мезосферы – нижней термосферы, обнаружено изменение коэффициента наклона спектров для синоптических масштабов (2-7 суток) со значениями коэффициента наклона от 0.5 до 1.8.

5) Обнаружена эллиптическая поляризация волновых процессов с масштабами (2-30 суток) на высотах мезосферы – нижней термосферы (80-100 км) с наиболее выраженными изменениями высотной структуры зимой по сравнению с летом. Установлено преимущественное вращение вектора скорости ветра по часовой стрелке для синоптических масштабов (2-7 суток) и против часовой стрелки для длинных и ультрадлинных волн (10-30 суток). Для характерных временных масштабов волновых возмущений, близких по периоду к волнам Россби, замечена значимая когерентность на соответствующих интервалах высот: квази 2-х суточная волна (80-100 км), 4-7 суточные волны (80-90 км), квази 10-ти суточная волна (90-100 км), квази 16-ти суточная волна (80-100 км), и квази 27-суточная волна (80-90

км). Определены фазовые сдвиги зональной компоненты относительно меридиональной для характерных масштабов: около 90^0 для 2-4 суток, около 45^0 для 5 суток с опережением меридиональной компоненты, для масштабов выше 5 суток – наблюдается тенденция опережения зональной компоненты.

Список используемой литературы:

1. Измерение ветра на высотах 90-100 км наземными методами / Под ред. Портнягина Ю.И., Шпренгер К., Лысенко И.А. и др. – Л.: Гидрометеиздат, 1978. – 344 с.
2. Чуи Ч. К. Введение в вэйлеты : Пер. с англ. / Ч. К. Чуи. – Москва: Мир, 2001. – 412 с.
3. Тептин Г.М. Структура нижней термосферы / Г.М. Тептин. – Казань: Изд-во Каз. гос. ун-та, 1976. – 175 с.
4. Портнягин Ю.И. О макротурбулентности в области мезопаузы – нижней термосферы / Ю.И. Портнягин, Л.В. Светогорова // Физика атмосферы и океана. – 1986. – Т. 22, № 4. – С. 339-343.
5. Шакина Н.П. Гидродинамическая неустойчивость в атмосфере / Н.П. Шакина – Л.: Гидрометеиздат, 1990. – 309 с.

Список основных работ по теме диссертации.

1. Fahrutdinova A.N. Rotational spectra and wavelet analysis in the investigation of wave activity of vectorial wave fields in the earth atmosphere / A.N. Fahrutdinova, V.V. Guryanov, D.V. Korotyshkin // Georesources International Journal of Science. – 2001. – V. 2, №. 5. – P. 10-13.
2. Волновая структура и энергетика крупномасштабных процессов в средней атмосфере / А.Н. Фахрутдинова, В.В. Гурьянов, Ю.П. Переведенцев, Д.В. Коротышкин // Фундаментальные исследования взаимодействия суши, океана и атмосферы: Материалы конференции. – Москва, МГУ. – 2002. – С. 110-111.

3. Fahrutdinova A.N. Structure of rotational spectra of vectorial wave fields in the middle atmosphere / A.N. Fahrutdinova, V.V. Guryanov, D.V. Korotyshkin // Proc. SPIE. – 2002. – V. 5027. – P. 250-259.
4. Fahrutdinova A. Rotational effects in the field of tidal wind of the mid-latitude MLT-region / A. Fahrutdinova, D. Korotyshkin, D. Fedorov // Advances in Space Research. – 2003. – V. 32, № 5. – P. 875-880.
5. Planetary waves activity and rotational effects in the mid-latitudes of the lower and middle atmosphere (0-100km) / A. Fahrutdinova, V. Guryanov, D. Korotyshkin et al. // Advances in Space Research. – 2003. – V. 32, № 5. – P. 869-874.
6. Коротышкин Д.В. Высотная и временная изменчивость преобладающего ветра на высотах 0-100 км для региона Казани (56^0 с.ш., 49^0 в.д.) / Д.В. Коротышкин // Молодежь вузов г. Казани в решении актуальных проблем города: сб. материалов научно-практической конф. – Казань. – 2003. – С. 34-36.
7. Longitudinal variability of the zonal and meridional circulation and the intensity of planetary waves in the lower and the middle atmospheres / A. Fahrutdinova, V. Guryanov, D. Korotyshkin et al. // Advances in Space Research. – 2003. – V. 32, I. 5. – P. 1759-1764.
8. Korotyshkin D.V. Interdependence of wave processes of zonal and meridian circulation of the middle atmosphere / D.V. Korotyshkin, A.N. Fahrutdinova // Proc. SPIE. – 2003. – V. 5397. – P. 244-251.
9. Коротышкин Д.В. Обнаружение пачки радиоимпульсов с неизвестным доплеровским сдвигом частоты с использованием автокорреляционного подхода / Д.В. Коротышкин; Казанский гос. ун-т. – Казань. – 19 с. Деп. в ВИНТИ 22.06.2004 № 1051-B2004.
10. Wind regime of the mesosphere – lower thermosphere of the Earth / A.N. Fahrutdinova, D.V. Korotyshkin, A.M. Stepanov et al. // SPIE Proc. – 2004. – V. 5743, P. 514-521.

11. Korotyshkin D.V. Temporal and spatial rotational spectra of wind velocity variations with periods 2-40 days in lower and middle atmospheres of the earth / D.V. Korotyshkin, A.N. Fahrutdinova, V.V. Guryanov // SPIE Proc. – 2004. – V. 5743. – P. 522-527.
12. Korotyshkin D.V. Coherence of temporal variations (2-30 days) in the wind field of the midlatitude middle atmosphere of the earth / D.V. Korotyshkin, A.N. Fahrutdinova // SPIE Proc. – 2004. – V. 5743. – P. 528-535.
13. Коротышкин Д.В. Обнаружение пачки когерентных радиоимпульсов с неизвестным доплеровским сдвигом частоты / Д.В. Коротышкин // Сборник тезисов Юбилейной научной конференции Физического Факультета КГУ. – Казань. – 2004. – с. 128.
14. Коротышкин Д.В. Применение современных цифровых технологий для проведения и обработки радиометеорных измерений на метеорном радаре Казанского Университета / Д.В. Коротышкин, А.Н. Фахрутдинова // Физика окружающей среды: материалы IV Международной школы молодых ученых и специалистов. – Томск. – 2004. – С. 3-5.
15. Фахрутдинова А.Н. Радиометеорные измерения скоростей ветра на метеорном радаре Казанского Университета / А.Н. Фахрутдинова, Д.В. Коротышкин // Распространение радиоволн: сборник докладов XXI Всероссийской научной конференции. В 2-х т. – Йошкар-Ола, МарГУ. – 2005. – Т. 2. – С. 251-256.
16. Фахрутдинова А.Н. Ротационная структура волновых возмущений преобладающего ветра в среднеширотной мезосфере – нижней термосфере Земли / А.Н. Фахрутдинова, Д.В. Коротышкин // Фундаментальные проблемы физики: тезисы докладов III международной конференции. – Казань, КГУ. – 2005. – С. 185.